

# 最近の技術から

## p-ZnSe への擬傾斜ギャップオーミックコンタクト

更家 淳 司

京都工芸繊維大学工芸学部電子情報工学科 〒606 京都市左京区松ヶ崎御所海道町

### 1. ま え が き

窒素のラジカルセルを用いて、ZnSe への p 形ドーピングが成功し<sup>1,2)</sup>、この技術の上に、デバイス構造として量子井戸構造を採用することによって、ついに青色あるいは青緑色のレーザーダイオードが実現した<sup>3,4)</sup>。これらのデバイスは GaAs 基板上に MBE 法によって作られている。レーザーを安定に動作させるには、結晶の高品質化、デバイス構造の改善などの本質的問題の解決とともに、デバイス内の熱の発生をできるだけ小さく抑えることが必要で、電極や基板とエピ層の間のコンタクト抵抗を小さくすることが技術的に重要である。n-GaAs 上のデバイスでは、基板と n-ZnSe (n-ZnSSe) との間のコンタクト抵抗は比較的小さいが、最上層の p-ZnSe へのオーミックコンタクトが難しい。一方、p-GaAs 上のデバイスでは、基板と p-ZnSe (p-ZnSSe) との間で価電子帯のバンドオフセットが大きく、大きな電圧降下を生じる。そこで、p-ZnSe へのオーミックコンタクトが望まれることとなった。

電極に用いる元素が適当なアクセプタとなり、メタライゼーションの過程で電極直下に p<sup>+</sup> 層が形成される場合、あるいは ZnSe 自体が p<sup>+</sup> にまでドーピングできればオーミックコンタクトは容易になると思われる。しかし、ZnSe への p 形ドーピングは、まだ p<sup>+</sup> の一歩手前であり、またアクセプタ不純物の N や Li は電極には使用できない。このため、オーミックコンタクトの形成が難しくなっている。

p-ZnSe への電極として、これまで Au が用いられてきたが、Au/p-ZnSe 接触はショットキー障壁となる。最近、ノースカロライナ大から HgSe/ZnSe ヘテロ接合を利用したオーミックコンタクトが発表されたが<sup>5)</sup>、Hg を MBE 装置内で扱うのは一般的ではない。ここでは、筆者が昨年パージェー大に客員研究員として滞在した折りの仕事として、ZnSeTe 擬傾斜バンドギャップ・オーミックコンタクト<sup>6)</sup>について紹介する。

### 2. オーミックコンタクトの構造

ZnTe は窒素のラジカルセルを用いて正孔密度  $10^{19}/\text{cm}^3$  近くまでドーピングできる<sup>7)</sup>。このような試料に対して Au は良好なオーミック電極となる。しかし、ZnTe と ZnSe の価電子帯間には約 1 eV のバンドオフセットがあり、(図 1 (a))、後の図に示すように、p-ZnTe/p-ZnSe ヘテロ接合はオーミックにはならない。そこで、p-ZnSe と p-ZnTe の間に、その組成を徐々に変化した p-ZnSeTe 傾斜ギャップ層を挿入すれば、図 1 (b) のようにこの間でフェルミレベルが水平となり、価電子帯もほぼ水平となって、正孔への障壁はほとんどなくなり、オーミックコンタクトが得られると考えられる。

MBE 成長で ZnSeTe 混晶層の組成を広い範囲にわたって制御することは難しく<sup>8)</sup>、また、Se や Te のセル温度を変化させて組成を徐々に変化させること自体、

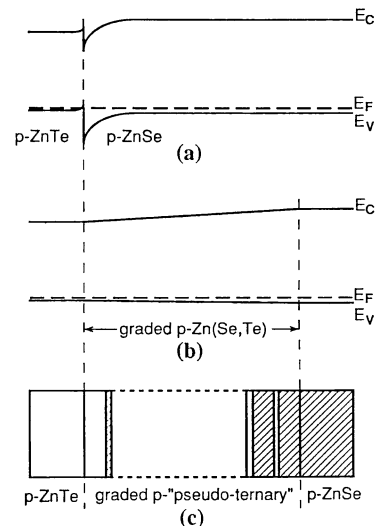


図 1 (a) p-ZnTe/p-ZnSe および (b) p-ZnTe/p-ZnSeTe 傾斜ギャップ層/p-ZnSe のバンド構造、(c) ZnSeTe 擬傾斜ギャップオーミックコンタクトの構造

MBE 成長ではあまり望ましい方法ではない。そこで、超格子的構造を考案し、約  $20 \text{ \AA}$  の厚さのひとつのセルのなかで ZnSe と ZnTe の膜厚をシーソー式に順次変化させたものを、ZnSe から ZnTe へ 17 セル積層し (図 1(c)), 擬傾斜ギャップ構造とすることにした。この構造は、シャッタのオン-オフのプログラムにより、MBE 法では容易に作製できる。

### 3. コンタクトの特性

図 2 に、正孔密度  $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  の窒素ドーパ p-ZnSe に対し、三種類のコンタクト構造の室温の  $I$ - $V$  特性を示す。(b), (c) が二つのダイオードの逆直列接続の降伏特性を示しているのに対し、(a) の擬傾斜ギャップコンタクトがきれいなオーミック特性になっていることがわかる。コンタクト抵抗値は、 $2 \sim 8 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}^2$  という値が得られ、レーザーの電極としてはほぼ使用可能である。今後の改良によって、コンタクト抵抗をもっと小さくすることが可能と思われる。また、この電極を用いると、室温と 77 K の間で、通常の測定系で、上記の p-ZnSe のホール係数を安定に測定することができた。このことは、電極のオーミック性が優れていることを示している。

### 4. デバイスへの適用

n-GaAs 基板上的の発光ダイオードあるいはレーザーの電極として、この擬傾斜ギャップ構造が使用された。デバイスの構造は、文献 4) とほぼ同様で、ZnCdSe/ZnSSe 多重量子井戸構造である。発光ダイオードは 77 K で  $3 \sim 4 \text{ V}$  という低い電圧で電流が立ち上がり、同時に発

光が観測された。このことは正孔の注入が有効に行われていることを示している。レーザーとしては、77 K でのパルス動作での発振のしきい値付近の端子電圧が、 $15 \sim 17 \text{ V}$  と従来の Au 電極に比べ  $1/2$  程度に小さくなった。しかし、素子構造の最適化が行われていないため、発振のしきい値電流は  $2 \text{ kA}/\text{cm}^2$  程度となり、同様の構造の Au 電極のデバイスの約倍程度であった。ただし、それにもかかわらず、端子電圧が減少したことになる。パルス動作下では、このレーザーは 200 K 程度まで発振した。

### 5. む す び

p-ZnSe への擬傾斜ギャップオーミックコンタクトについて述べた。今後より改良されて、II-VI 化合物青色レーザー実用化のひとつの技術として利用されることを期待したい。

### 文 献

- 1) K. Ohkawa, T. Karasawa and T. Mitsuyu: "Characteristics of p-type ZnSe layer grown by molecular beam epitaxy with radical doping," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **30** (1991) L152-L155.
- 2) R.M. Park, M.B. Troffer, C.M. Rouleau, J.M. DePuydt and M. A. Haase: "p-type ZnSe by nitrogen atom beam doping during molecular beam epitaxial growth," *Appl. Phys. Lett.*, **57** (1990) 2127-2129.
- 3) M. A. Haase, J. Qiu, J.M. DePuydt and H. Chen: "Blue-green laser diodes," *Appl. Phys. Lett.*, **59** (1991) 1272-1274.
- 4) H. Jeon, J. Ding, W. Patterson, A. V. Nurmikko, W. Xie, D. C. Drillo, M. Kobayashi and R. L. Gunshor: "Blue-green injection laser diodes in (ZnCd)Se/ZnSe quantum wells," *Appl. Phys. Lett.*, **59** (1991) 3619-3621.
- 5) Y. Lansari, J. Ren, B. Sneed, K. A. Bowers, J. W. Cook, Jr and J. F. Schetzina: "Improved ohmic contacts for p-type ZnSe and related p-on-n diodes structures," *Appl. Phys. Lett.*, **61** (1992) 2554-2556.
- 6) Y. Fan, J. Han, L. He, J. Saraie, R. L. Gunshor, M. Hagerott, H. Jeon, A. V. Nurmikko, G. C. Hua and N. Otsuka: "Graded band gap ohmic contact to p-ZnSe," *Appl. Phys. Lett.*, **61** (1992) 3160-3162.
- 7) J. Han, T. S. Stavrinides, M. Kobayashi, R. L. Gunshor, M. M. Hagerott and A. V. Nurmikko: "Heavy p-doping of ZnTe by molecular beam epitaxy using a nitrogen plasma source," *Appl. Phys. Lett.*, **62** (1993) 840-842.
- 8) L. A. Kolodziejski, R. L. Gunshor, Q. Fu, D. Lee, A. V. Nurmikko, J. M. Gonsalves and N. Otsuka: "Electronic trapping from atomic layer epitaxial ZnTe with ZnSe/(ZnMn)Se heterostructures," *Appl. Phys. Lett.*, **52** (1988) 1080-1082.

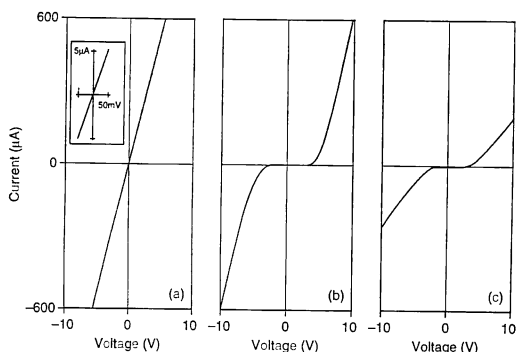


図 2 三種類のコンタクト構造の  $I$ - $V$  特性 (室温), (a) Au/p-ZnTe/p-ZnSeTe 擬傾斜ギャップ層/p-ZnSe, (b) Au/p-ZnSe, (c) Au/p-ZnTe/p-ZnSe

(1993 年 6 月 23 日受理)